

Ville Mäkitalo

TIETOKONEAVUSTETTU SIJOITTELU OSANA TUOTANNON KEHITTÄMISTÄ

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Ville Mäkitalo: Tietokoneavustettu sijoittelu osana tuotannon kehittämistä
Computer-aided layout as part of the development of production

Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019

Kandityössä käsitellään erään kohdeyrityksen tuotannon tehokkuuden kehittymistä automaattisen sijoittelun mukaan ottamisen myötä. Sijoittelusovelluksiksi on valittu viisi erilaista sovellusta, joita on tarkasteltu yksinäisesti ja vertailtu keskenään. Kohdeyrityksellä ei ole käytössä mitään sijoitteluun tarkoitettua sovellusta, joten sovelluksen käyttöönotto tulee tulevaisuudessa pakolliseksi kilpailun kasvaessa. Tarkoituksena on koota kohdeyritykselle lista sijoittelusovelluksia, joita olisi mahdollista hyödyntää tuotannossa. Teoriaosuutena toimii kirjallisuuskatsaus, jossa perehdytään hieman tarkemmin automaattisen sijoittelun hyötyjen takana oleviin asioihin kuten materiaalitehokkuuteen.

Työn tavoitteena oli löytää hyvä, halpa ja helppo sijoittelusovellus kohdeyrityksen käyttöön. Sovellusta käytetään yrityksen sisällä muun muassa alumiinilevyihin, SPU-eristelevyihin, filmivaneereihin, lujalevyihin sekä RST-levyihin. Työssä on käytetty hyväksi kohdeyrityksen omia aineistoja, eri sijoittelusovelluksien tarjoajien internetsivuja sekä vanhempia tutkimuksia aiheeseen liittyen.

Tuloksena saatiin karsittua yritykselle viidestä erilaisesta sovelluksesta yksi, Astra R-Nesting, jonka käyttöönottoa yrityksen on syytä harkita tulevaisuudessa. Sovelluksien vertailu tapahtui perusominaisuuksien, leikkausprosessien tuen sekä hinnaston perusteella. Astra R-Nesting on tavoitteiden mukainen eli hyvä, halpa sekä helppo.

Avainsanat: Nestaus, Nestausohjelma, Materiaalitehokkuus, Tuotannon tehokkuus

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TAUSTATIEDOT	2
2.1 Yrityksen kuvaus	2
2.2 Tavoitteet	3
3. KIRJALLISUUSKATSAUS	4
3.1 Materiaalitehokkuus	4
3.2 Hankinta	6
4. NESTAUSPROSESSI	8
4.1 Historia	8
4.2 Määritelmä	9
4.3 Hyödyt	10
5. NESTAUSSOVELLUKSET	12
5.1 Astra R-Nesting	12
5.2 TruNest	13
5.3 ProNest	14
5.4 SigmaNEST	14
5.5 NestFab	16
6. SOVELLUKSIEN VERTAILU	17
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	23
7.1 Kohdeyritys	23
7.2 Yleiset	24
LÄHTEET	26

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Nestaus	Tietokoneohjattu sijoittelu
SPU-eristelevy	Polyuretaanilevy
RST-levy	Ruostumaton levy
CAD	Tietokoneavustettu suunnittelu
CAM	Tietokoneavustettu valmistus
CNC	Tietokoneistettu numeerinen ohjaus
NC	Numeerinen ohjaus
XML-kieli	Tiedonvälityksen formaatti järjestelmien välillä
DXF	CAD-tiedostomuoto, jonka kehitti Autodesk
DWG	CAD-tiedostomuoto, jonka kehitti Autodesk
IPT	CAD-tiedostomuoto, jonka avulla kuvataan 3D-kappaleita
IAM	CAD-tiedostomuoto, jonka avulla kuvataan 3D-kokoonpanoja
ERP	Toiminnanohjaus-järjestelmä
MRP	Tuotannonohjaus-järjestelmä

m^2 Neliömetri

1. JOHDANTO

”Tuottavuus on ennen kaikkea tapa ajatella. Se on asennoitumista olemassa olevan jatkuvaan parantamiseen. Se on uskoa siihen, että tänään voi tehdä asian paremmin kuin eilen ja huomenna paremmin kuin tänään. Se edellyttää sopeutumista taloudellisiin haasteisiin sekä uusien teorioiden, teknologioiden ja menetelmien soveltamista jatkuvasti muuttuvissa olosuhteissa. Se on vakaata uskoa ihmiskunnan kehittymiseen.” [1]

Nykyään yrityksen pyrkivät parantamaan tuottavuuttaan käyttämällä erilaisia tietokoneohjelmistoja. Näiden ohjelmistojen avulla pystytään esimerkiksi pienentämään asetus-aikoja tai minimoimaan tuotannossa syntyvän jätteen määrää. Myös luonnonvarojen liiallinen kulutus ja siitä aiheutuvat ympäristöongelmat valmistuksessa ovat olleet esillä sekä yrityksissä että julkisella sektorilla. Tähän ongelmaan on otettu kantaa ja tärkeimmäksi ongelmakohtaksi valmistusvaiheessa on noussut materiaalitehokkuus. Yksi materiaalitehokkuuden tärkeimmistä tavoitteista on käyttää mahdollisimman vähän materiaaleja, raaka-aineita ja energiaa. Tuotteen valmistamisesta aiheutuvia haitallisia ympäristövaikutuksia pyritään vähentämään koko sen elinkaaren aikana. Tämä sekä edistää yrityksen kilpailukykyä, että luo säästöjä materiaalikustannuksissa. [2]

Kandidaatintyössä etsitään kotimaiselle perheyritykselle uusia vaihtoehtoja tämänhetkisen materiaalihävikkiprosentin pienentämiseen. Työssä lähdetään tarkastelemaan erilaisten arkkimateriaalien kuten alumiinilevyn, SPU-eristelevyn, filmivanerin, lujalevyn ja RST-levyn leikkauskaavioiden piirtämiseen moderneja keinoja. Nykyään leikkauskaavioiden piirtämisessä apuna käytetään sovelluksia, joita kutsutaan nestaussovelluksiksi. Työn tarkoituksena ei ole lähteä kilpailuttamaan eri nestaussovelluksia yrityksen puolesta, vaan luoda yritykselle yleiskuva mahdollisista sovelluksista, joita hyödyntämällä yritys pystyy parantamaan tuottavuuttaan.

Työn alussa keskitytään kuvaamaan yritystä ja yrityksen asettamia tavoitteita kandidaatityölle. Seuraavaksi siirrytään kirjallisuuskatsaukseen, jossa tarkastellaan työn kirjallista osuutta ja kuvataan erilaisia työhön liittyviä termejä. Teoriaosuuden jälkeen keskitytään itse nestausprosessiin; mitä tämä tarkoittaa ja mitä hyötyä siitä on yritykselle. Sitten vuorossa on erilaisten nestaussovelluksien pienimuotoinen esittely ja vertailu. Työn lopussa kerrotaan mitä hyötyä sovelluksen käyttöönotosta on niin itse kohdeyritykselle, kuin yleisestikin.

2. TAUSTATIEDOT

2.1 Yrityksen kuvaus

Kohdeyritys, Stroitel Oy, sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla, Kauhavalla. Se on vuonna 1981 perustettu perheyritys, joka aloitti toimintansa alun perin rakennusalan metallitöiden parissa. Kuitenkin muutaman vuoden kuluttua yritys siirtyi käyttämään alumiinia raaka-aineena ja alkoi valmistaa laadukkaita alumiinijulkisivurakenteita. Vuodesta 1988 alkaen Stroitel Oy on valmistanut kokonaistoimituksena tai osatoimituksena asiakkaan tarpeen mukaan mittatilaustyönä alumiinijulkisivurakenteita. [3]

Stroitel Oy on onnistunut luotettavuudellaan ja laadullaan vakiinnuttamaan asemansa Etelä-Pohjanmaalla yhtenä merkittävänä rakennusliikkeiden alihankkijana. Yksi tärkeimmistä yrityksen ominaisuuksista on juuri joustavuus. Vuosikymmenten kokemuksen ja pitkien asiakassuhteiden taustalla on molemminpuolinen luottamus ja arvostus siihen, että tehdään se mitä on sovittu ajallaan [3]. Yrityksen tuoteperheeseen kuuluvat alumiiniovvet, -ikkunat, -kaiteet sekä alumiiniset erikoisrakenteet, kuten oven vetimet. Kaikki rakenteet valmistetaan asiakkaan kanssa hyvässä yhteistyössä heidän tarpeidensa mukaan. Stroitel Oy suosii suomalaisia yrityksiä ja käyttää Purso Oy:n alumiinijärjestelmiä.

Yritys turvaa laajan asiakaskunnan siten, että se valmistaa yllä mainittuja tuotteita niin yksityisille henkilöille, julkisille rakennuttajille, Suomen johtaville rakennusliikkeille kuin kunnillekin. Toimitilaa yrityksellä on yhteensä noin $2\,500\text{ m}^2$, josta lämmintä hallitilaa $1\,400\text{ m}^2$, kylmää varastotilaa $1\,100\text{ m}^2$ ja toimisto- ja sosiaalitilaa noin 150 m^2 . [3]



Kuva 1. Stroitel Oy toimitilat. [3]

Yrityksessä on ollut muutamien vuosien ajan käynnissä sukupolvenvaihdos [4]. Tämän ansiosta yritys on pystynyt kehittymään edelleen paremmaksi ja kilpailukykyisemmäksi. Yritys parantaa tuottavuuttaan ottamalla tuotantoon käyttöön yhä enemmän automaatiota, kehittämällä tietotekniikkajärjestelmiään sekä optimoimalla kokonaisvaltaista toimintaa yrityksen sisällä. Näiden investointien sekä hankintojen myötä yrityksellä on hyvät edellytykset kehittyä edelleen suuremmaksi kilpailijaksi isompien yritysten rinnalla.

2.2 Tavoitteet

Raakamateriaalien hintojen nousun sekä tiukentuneen markkinatilanteen vuoksi yrityksen on huomioitava yhä suuremmin hukkamateriaalien uusiokäyttö ja pyrittävä pienentämään hukkaprosenttia. Yrityksen tulevaisuuden tavoitteena on käyttää kaikki ylijäävä materiaali seuraavissa projekteissa, siten hukkamateriaali saataisiin huomattavasti pienemmäksi.

”Yritys toivoo tältä tutkimustyöltä pinnallista syventymistä nestaukseen sekä pienimuotoista kartoittamista markkinoilla olevista softista, joita yritys voisi hankkia käyttöönsä tulevaisuudessa.” [4] Yrityksen pyrkimys on saada tämän tutkimuksen myötä esimerkiksi luettelo mahdollisista toimittajista, joita yritys pystyisi käyttämään tulevaisuudessa. Yritys ei ole asettanut tälle tavoitteelle aikataulua, mutta sen saavuttaminen tulevaisuudessa on kuitenkin yrityksen kilpailukyvyn parantamiseksi ajankohtainen ja välttämätön. Yrityksellä on myös suuri etu siinä, että tutkimuksen tekijällä on työkokemusta yrityksestä, joten hänellä on kuva siitä, mitä yritys tahtoo saavuttaa.

Mahdollisuuksien ohella yritys toivoo myös kehitysideoita leikattujen levyjen hukkapalojen säilytykseen ja kirjanpitoon. Levyt tulisi olla mahdollisimman hyvin säältä suojassa, ettei maalipinta pääse haalistumaan tai mahdollisia naarmuja pystyisi muodostumaan levyjen maalipinnalle. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että nestaussovelluksen käyttöönoton jälkeen olisi mahdollista kehittää uusi varastointijärjestelmä yritykselle. Tämä järjestelmä olisi saatava sähköiseksi ja fyysisesti sellaiseksi, että yritykseen saapuvat levyt olisivat järjestelmällisesti helposti löydettävissä sekä levyn leikkauksen jälkeen hukkal levyt olisivat omassa paikassaan. Nestaussovelluksen ilmoittaessa paljonko hukkamateriaalia jää yrityksen käyttöön, on tämä tulevaisuudessa helppo toteuttaa.

Nestaussovelluksen käyttöönottoaminen yrityksessä parantaa yrityksen hukkamateriaalien jatkokäsittelyä ja täten koko tuotannon materiaalitehokkuus saadaan kasvuun. Levyjen nestaussovellusta pyrittäisiin käyttämään erilaisissa arkkimateriaaleissa, kuten alumiinilevyissä, SPU-eristelevyissä, filmivaneereissa, lujalevyissä sekä RST-levyissä.

3. KIRJALLISUUSKATSAUS

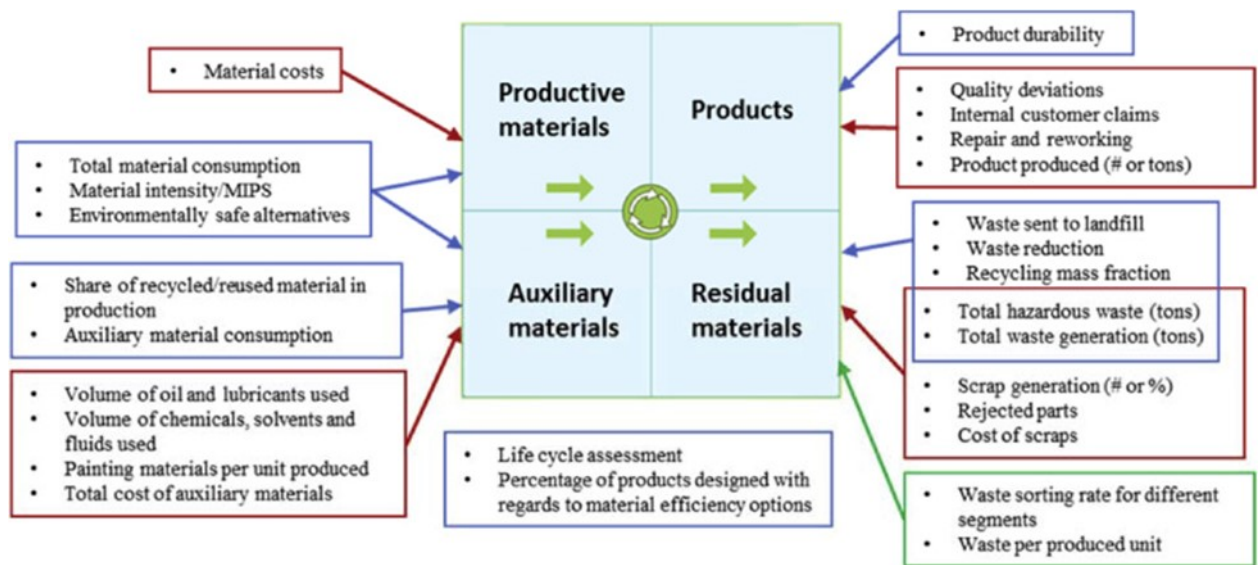
3.1 Materiaalitehokkuus

Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan luonnonvarojen säästeliästä käyttöä toimijan tasolla, tehokasta sivuvirtojen hallintaa, jätteen määrän vähentämistä ja materiaalin kiertäystä elinkaaren eri vaiheissa [5]. Yrityksissä tämä otetaan huomioon, kun raaka-ainemäärät kasvavat ja jätettä syntyy enemmän tuotteen eri valmistusvaiheissa. Teollisen tuotannon materiaalitehokkuus voidaan määritellä esimerkiksi tietyn materiaalin määräksi, joka tarvitaan tietyn tuotteen valmistamiseen [2].

Monet tutkijat ovat määrittäneet materiaalitehokkuuden, ja sen semanttiset ominaisuudet ovat lähellä muita ympäristöä säästäviä käsitteitä, kuten dematerialisaatiota, ekotehokkuutta ja resurssitehokkuutta [6][7]. Abul-Rashid et al. [8, s. 214-229] on antanut yksinkertaisen määritelmän materiaalitehokkuudelle: tuotteiden tuottamisen suhdeluku raaka-aineiden käyttöön.

Materiaalitehokkuus on suorassa vuorovaikutuksessa materiaalien kysyntään siten, että materiaalitehokkuuden kasvaessa materiaalien tarve pienenee. Globaalisti tämä tarkoittaa luonnonvarojen kysynnän jyrkkää kasvua lähivuosisikymmeninä, mikäli materiaalitehokkuuteen ei panosteta. Tämä on uhka sekä taloudelle että ympäristölle. Tehokas materiaalitalous parantaa osaltaan talouden ja yritysten kilpailukykyä, vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia ja turvaa luonnonvarojen riittävyyttä [5]. Teknisten materiaalien maailmanlaajuinen kysyntä on nelinkertaistunut viimeisen 50 vuoden aikana. Jos maailman väestönkasvun oletetaan pysyvän samanlaisena vuoteen 2050 asti, materiaalien kysyntä kasvaa yli kaksinkertaiseksi nykyiseen nähden [9]. Tämä näkyy myös Euroopassa siten, että noin puolet vuosittain käytetyistä luonnonvaroista tuottaa kolmanneksen kaikesta jätteestä [10].

Materiaalitehokkuus on yhä tärkeämpi ympäristö- ja taloudellinen indikaattori. Nykyään materiaalitehokkuus on jaettu pienempiin osakokonaisuuksiin, joita tutkimalla yritys pystyy tuottamaan enemmän pienemmillä kustannuksilla [11]. Jotta materiaalitehokkuuden avulla pystyttäisiin tuottamaan parannuksia yritykselle, on tasapuolisesti mitattava neljää pääluokkaa (kuva 2). Kuvasta nähdään materiaalitehokkuus suhteessa suorituskykyilmaisimen luokkiin. Sinisen laatikon ilmaisimen arvot ovat peräisin kirjallisuudesta, punaisissa laatikoissa olevat ilmaisimien arvot tunnistettiin empiirisessä tutkimuksessa ja vihreiden laatikoiden suorituskykyilmaisimien arvot ovat harvinaisempia, mutta ratkaisevia materiaalitehokkuuden parannuksen kannalta.



Kuva 2. Materiaalitehokkuuden neljä pääryhmää [11, s. 17-32].

Materiaalitehokkuuden määritelmän mukaan, tuotteiden suhdeluku raaka-aineisiin muodostaa ensimmäisen yhtälön (kaava 1). Kuitenkaan yritysten sisällä raaka-aineisiin luokiteltavat asiat eivät ole aina selviä, joten saadaan aikaiseksi toinen yhtälö (kaava 2).

$$\begin{aligned} \text{Materiaalitehokkuus} &= \frac{\text{Teollisuustuote}}{\text{Syötetty materiaali}} \\ &= \frac{\text{Tuotteen paino}}{\text{Raaka-aineiden paino}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Materiaalitehokkuus} &= \frac{\text{Teollisuustuote}}{(\text{Tuotteen valmistuksessa syntynyt jäte} + \text{Tuote})} \\ &= \frac{\text{Tuotteen paino}}{(\text{Jätteen paino} + \text{Tuotteen paino})} \end{aligned} \quad (2)$$

Nämä kriteerit voidaan myös indeksoida yhden tuotteen valmistamiseen, koko tuotantoon tai tuhansille tuotteille. Sitä voidaan myös käyttää hyväksi kulujen vastikkeena tai volyymimittauksissa, kuten (kaava 3) [12]

$$\text{Materiaalitehokkuus} = \frac{\text{Tuotteen hinta}}{(\text{Jätteen hinta} + \text{Tuotteen hinta})}. \quad (3)$$

Kaiken kaikkiaan materiaalitehokkuus on osa talousjärjestelmää ja taloudellinen tehokkuus mitataan rahana. Täten, kaavat (4)(5) voidaan kirjoittaa, kuten Allwood et al. [9][13] ehdottivat:

$$\frac{\text{Vaadittavat materiaalit}}{\text{Tuotettu palvelu}} = \frac{\text{Vaadittavat materiaalit}}{\text{Kulutettu raha}} \times \frac{\text{Kulutettu raha}}{\text{Tuotettu palvelu}} \quad (4)$$

$$\text{Fyysinen materiaalitehokkuus} = \text{Taloudellinen materiaalitehokkuus} \times \text{Palvelun hinta.} \quad (5)$$

Kaikissa näissä toimenpiteissä otetaan huomioon materiaalien kokonaistehokkuus, mukaan lukien valmistemateriaali. On kuitenkin olemassa vain vähän tutkimuksia materiaalitehokkuudesta valmistusteollisuudessa.

3.2 Hankinta

Useimmat yrityksen käyttävät alihankkijoita, koska eivät kykene tuottamaan kaikkea tarvitsemaansa materiaalia omissa tiloissaan. Yritykset tarvitsevat toisia yrityksiä tuekseen tuottamaan erilaisia raaka-aineita, komponentteja, tuotteita tai palveluja. Yrityksen tekevät hankintoja päästäkseen käsiksi toisen yrityksen tuottamiin hyödykkeisiin ja palveluihin.

”Hankinta (procurement) tarkoittaa yrityksen tarvitseman hankintakohteen (ts. tehtävän, materiaalin tai kokonaisratkaisun) toteuttamista toisen osapuolen toimesta. Hankinta sisältää kaikki hankintakohteen toteutumiseen liittyvät vaiheet. Se voi merkitä esimerkiksi raaka-aineen tai komponentin, tuotteen tai palvelun, kokonaisratkaisun tai osaamisen tarpeen tunnistamista, määrittelyä, tilaamista ja ostamista toiselta yritykseltä ja hankintakohteen käyttöönottoa yrityksen omassa toiminnassa.” [14, s. 304]

Kuten hankinnan määritelmästä voi nähdä, hankinta pitää sisällään paljon enemmän kuin pelkän ostotapahtuman. Martinsuon [14] mukaan siihen liittyvät niin tarpeen hahmottaminen ja sen tilaaminen toiselta osapuolelta kuin hankintakohteen vastaanottaminen ja sen käyttöönottaminen omassa yrityksessä. Tämä luo hankinnoille hyvin suuren roolin yrityksen toiminnassa. Hankinnat vaikuttavat niin yrityksen myynti- ja suunnittelu-

työssä, tuotannossa ja varastoinnissa kuin talouden hallinnassakin. Usein hankintakustannusten osuus yrityksessä on korkea, joten hankintojen vaikutus yrityksen taloudelliseen menestykseen on suuri. Yrityksen sisällä hankintakohde voi tarkoittaa raaka-ainetta, komponenttia, tehtävää, osaamista, tuotetta tai palvelua, tai jopa täysimittaista kokonaisratkaisua. [14]

Hankintakohteen perusteella hankintoja voi ryhmitellä esimerkiksi investointeihin, osahankintoihin ja täydentäviin hankintoihin. Investoinnit pitävät sisällään usein kokonaisratkaisuja tiettyyn ongelmaan, monimutkaisia tuotteita ja palveluja. Osahankinnoilla tarkoitetaan sellaisia raaka-aineita, komponentteja, materiaaleja, osaamisia tai muita osakokonaisuuksia, joita yritys tarvitsee suoraan valmistamiensa ja myymiensä tuotteiden aikaansaamisessa. Täydentäviä hankintoina voidaan pitää sellaisia tarvikkeita, tukitoimintoja ja –palveluita, joita yritys tarvitsee, mutta eivät liity suoraan tuotteisiin. Tällaisia täydentäviä hankintoja voi olla esimerkiksi erilaiset kuljetuspalvelut, toimistotarvikkeet ja varaosapalvelut.

Yksittäisten hankintojen pohjana on kuitenkin laajempi hankintaprosessi, joka pitää sisällään hankintojen hallinnan. Tätä ei lähdetä tarkastelemaan sen suuremmin, mutta alla olevasta kuvasta (kuva 3) voidaan tunnistaa joitain keskeisiä vaiheita [14].



Kuva 3. Yksittäisten hankintojen hallinnan keskeiset osa-alueet [14, s. 305].

Hankinnan lähtökohtana on aina jokin yrityksen hyötyodotus, kuten kuvasta nähdään. Yritykset yrittävät etsiä jatkuvasti uusia, helpompia, halvempia ja tehokkaampia keinoja toteuttaa omaa toimintaansa. Erilaisilla hankinnoilla yritykset tavoittelevat kustannussäästöjä, tehokkaampaa toimintaa, joustavuutta ja uusia innovaatioita.

4. NESTAUSPROSESSI

4.1 Historia

Matemaattisen teorian soveltamista leikkausongelmiin alettiin tehdä 1960-luvun alussa Gilmore ja Gomory [15, s. 94-120] ja Adamowicz ja Albano [16, s. 27-33] toimesta. Näissä tutkittiin säännöllisiä muotoja, kuten neliöitä ja suorakulmioita. Gilmoren ja Gomoryn [15 s. 94-120] tutkimuksessa kehitettiin matemaattinen optimointi kaksiulotteiselle leikkaukselle. Kyseisessä algoritmossa iso suorakulmainen levy leikattiin pienempiin neliöihin ja suorakulmioihin. Adamowicz ja Albano [16, s. 27-33] esittelivät algoritmin, joka määrittää tietyn määrän pieniä suorakulmioita, jotka sijoitetaan isoihin materiaalilevyihin. Nämä Algoritmit sopivat hyvin yleisen asettelun ongelmiin, mutta ovat rajoittuneet vain säännöllisiin muotoihin. Epäsäännöllisten muotoisten kappaleiden leikkaamiseen ehdotettiin kaksivaiheista lähestymistapaa, jossa ensimmäisessä vaiheessa epäsäännölliset kappaleet muunnetaan aluksi helposti käsiteltäviin muotoihin ja toisessa vaiheessa vasta suoritetaan itse levyille asettelu. [17]

Epäsäännöllisten muotojen tulkintaan Dori ja Ben-Bassat [18] esittelivät algoritmin, jossa epäsäännöllinen kappale muutetaan ensin kaksiulotteiseksi kuperaksi polygoniksi, minkä jälkeen se sijoitellaan suorakulmaiseen tyyliin. Algoritmi toimi vain kappaleille, jotka sisälsivät koveran reunamuodon. Tämän jälkeen Islam ja Hon [19, s. 837-852] ehdottivat algoritmia, jossa kaksi kappaletta yhdistetään yhdeksi ennen kappaleiden sijoittelua. Algoritmin ideana oli saada kahdesta kappaleesta mahdollisimman neliskulmainen, jolloin kappaleiden sijoittelu on kätevämpää. Algoritmin huonona puolena oli se, että kappaleet nähtiin neliskulmaisina, joten sisään jäävää aluetta eri pystytty hyödyntämään. Kuitenkin kaikkia yllämainittuja algoritmeja rajoittaa kappaleiden geometria jollain tapaa.

Myöhemmin monet tutkijat ovat antaneet tehokkaita ratkaisuja niin säännöllisten kuin epäsäännöllisten muotojen nestaukseen. Hopper ja Turton [20, s. 257-300] ovat antaneet kattavan katsauksen epäsäännöllisten kappaleiden nestauksen alalla. Gomes ja Oliveira [21, s. 359-370] ovat ehdottaneet algoritmia, joka poistaisi kappaleiden kiertorajoitukset nestauksen yhteydessä. Downslad et al. [22, s. 371-381] on esittänyt epäsäännöllisille kappaleille lähestymistapaa, jossa käytetään alhaalta vasemmalta olevaa menetelmää. Kyseisessä menetelmässä kappaleet sijoitetaan levyille järjestyksessä vasemmalta ylöspäin siirtyessä.

Nykyään yhä useammat eri sovellusten kehittäjät ovat luoneet moderneja algoritmeja erilaisiin käyttötarkoituksiin. Nykyaikaiset algoritmit pystyvät optimoimaan monimutkaisimmatkin kappaleet helposti siten, että hukkamateriaalia ei jää juuri lainkaan. Tämä parantaa yrityksen kilpailukykyä sekä materiaalitehokkuutta.

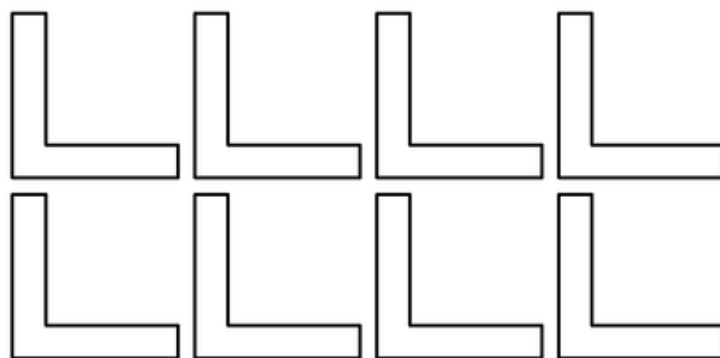
4.2 Määritelmä

Tehdasteollisuudessa tietokoneavusteinen sijoitteluprosessi eli nestausprosessi tarkoittaa automaattista leikkauskuvioden optimoimista erilaisille levyille ja arkkimateriaaleille. Prosessin tarkoituksena on parantaa raaka-ainemateriaalin käyttöä samalla minimoiden leikkauksista aiheutuvan jätteen syntymistä. Yrityksen näkökulmasta tämä tarkoittaa raaka-ainemateriaaleihin käytettävän kassan heikkenemistä, tuotannon tuottavuuden kehittymistä sekä varaston kontrolloimista. [23]

Nestausprosessi tarkoittaa tehokasta suunnittelua kappaleiden tuotannossa. Erilaisten algoritmien avulla pyritään samaan mahdollisimman paljon haluttuja kappaleita samalle levyille ja täten minimoidaan ylimääräinen raakamateriaalin käyttö. [23]

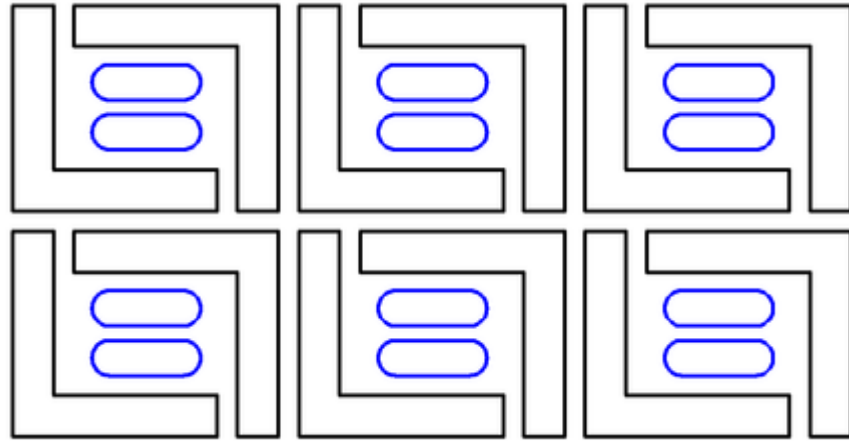
Automaattista sijoittelua pystytään hyödyntämään erilaisissa prosesseissa kuten, vesisuihkuleikkauksessa, plasmaleikkauksessa, laserleikkauksessa, ultraäänileikkauksessa ja giljotiinileikkauksessa. Usein nestaussovellukseen sijoitetaan CAD-tiedosto ja se antaa ulos NC-koodin, joka kontrolloi leikkauskonetta. Nestaussovellus käyttää algoritmeja, joilla pystytään minimoimaan leikkauksista aiheutuva jäte ja siten minimoida ylimääräisen materiaalin käyttö.

Nykyään on olemassa laaja valikoima sovelluksia, joiden toimintatarkoitus vaihtelee suuresti. Halvin mahdollinen ja kaikista yleisin sovellus on suorakulmaisten kappaleiden nestaaminen. Suorakulmaisessa nestauksessa huonona puolena on, ettei pystytä hyödyntämään koko levyn pinta-alaa, kuten kuvasta (kuva 4) nähdään.



Kuva 4. Yksinkertainen suorakulmainen sijoittelu [24].

Monimutkaisempien kappaleiden nestaaminen vaatii laajempia algoritmeja sovellukselta, jotta kappaleiden sijoittaminen levyille on mahdollista. Näiden algoritmien avulla pystytään sijoittamaan useita erimuotoisia kappaleita samalle arkille, mikä parantaa materiaalitehokkuutta entisestään.



Kuva 5. Useamman kappaleen samanaikainen sijoittelu [24].

Sovelluksiin tuodaan piirustukset suoraan CAD-ohjelmistosta, minkä jälkeen sovellus optimoi kappaleiden asettelun automaattisesti. Sovelluksien on kuitenkin otettava huomioon tuotannosta aiheutuvat rajoitukset, jotka liittyvät kappaleiden valmistustapaan. Esimerkiksi giljotiinileikkauskoneet pystyvät leikkaamaan vain suoria linjoja koko levyn läpi tai RST-levyjen hiontasuunta määrittää levynleikkaussuunnan halutuissa tapauksissa.

4.3 Hyödyt

Prosessin päätarkoitus onkin säästää mahdollisimman paljon materiaalikustannuksissa. Materiaalikustannukset pienenevät, koska leikkauksista aiheutuvan hukan määrä pienenee. Jätteen pienentyessä materiaalitehokkuus kasvaa kaavan 2 mukaan, kun teollisuustuote saadaan valmistettua pienemmillä materiaalikustannuksilla ja jätteillä. Tämä on tärkeää jokaiselle yritykselle, koska materiaalitehokkuus on yksi mittari, jolla mitataan koko tuotannon tehokkuutta.

Kappaleiden järjestämiseen kulutettua aikaa pystytään pienentämään prosessin avulla. Käsintehdessä leikkauskaaviot ovat todella raskaita ja hankalasti optimoitavia, mutta nestauksen avulla pystytään luomaan hetkessä suuria määriä leikkauskaavioita säästämällä aikaa ja näin rahaa. Prosessin käyttöönotto parantaa tuotannon läpäisykykyä, koska pystytään tuottamaan enemmän virheettömiä kappaleita pienemmässä ajassa.

Optinest on tutkinut koneita, joiden käyttöaste on noin 90 %. Useimmissa tutkimuksissa sovelluksen käyttöönotto on jopa kaksinkertaistanut tuotantokapasiteetin. [25]

Prosessin avulla pystytään tuottamaan heti oikeanlaiset kappaleet siten, ettei vaurioituneita tai viallisia kappaleita pysty syntymään. Tämän ansiosta laadunvalvonta tuotannossa paranee. Nestauksen avulla pystytään pienentämään myös asennusaikoja sekä materiaalin käsittely- ja purkuaikaa. Näiden ansiosta pystytään vähentämään yleiskustannuksia ja täten parantamaan kassavirtaa.

5. NESTAUSSOVELLUKSET

Tässä luvussa esitellään erilaisia nestaussovelluksia sekä verkkosivujen että käyttäjäkokemuksien pohjalta. Esimerkki sovelluksiksi on valittu: Astra R-Nesting, TruNest, ProNest, SigmaNEST sekä NestFab.

5.1 Astra R-Nesting

Astra R-Nesting on tarkoitettu suorakulmaisten levyjen optimointiin. Ohjelmistoa voidaan käyttää vanerin, puun, lasin, metallin ja muiden arkkimateriaalien optimointiin. Ohjelma antaa käyttäjälle monipuoliset käyttöliittymän muokkausmahdollisuudet. Ohjelmistolla pystyy optimoimaan tarvittavat leikkauskaaviot niin käsin kuin automaattisestikin. Ohjelmisto laskee ylijäävän materiaalin määrän sekä ilmoittaa sen ohjelmiston sisällä. Leikkauskaaviot on mahdollista tulostaa suoraan, eikä niitä tarvitse uudestaan piirtää. [26]

Astra R-Nesting ohjelmistolla sijoittelun luominen on nopeaa ja aikaa säästävää. Tiedot syötetään yksinkertaisella taulukolla, jonka jälkeen on mahdollista tulostaa osien ja arkien luettelo esimerkiksi tilauslomakkeeseen tai viedä ne Excel- tai CAD/CAM sovelluksiin. Tietojen syötön jälkeen voidaan suorittaa nestaus annetuilla tiedoilla. [27]

Astra R-Nesting vähentää yrityksen kustannuksia erinomaisella optimoinnilla ja jätteiden vähenemisellä. Ohjelmisto tarjoaa yritykselle hukan määrän laskemisen automaattisesti, joten yrityksen ei tarvitse laskea paljonko materiaalia jää käytettäväksi seuraavaan projektiin. Ohjelmisto tarjoaa yritykselle myös varastoluettelon, joka on manuaalinen tai automaattinen yrityksen mahdollisuuksien mukaan. [26]

Yksi parhaista Astra R-Nesting ohjelmiston ominaisuuksista on sen yhteensopivuus yrityksen omaan ohjelmistoon. Optimoinnin tulos voidaan viedä XML- ja Excel-tiedostoihin. Tiedonvaihtoon suositeltu käytettävä tiedostomuoto on XML-tiedosto, koska sitä on helpompi käsitellä ja ne voivat sisältää enemmän tietoa. Ohjelmiston avulla voi vastaanottaa ja käsitellä tuloksia, kuten leikkauskuvia, leikkausluetteloita, käytettyjen levyjen pintaaloja. [26]

Astra R-Nesting tarjoaa käyttäjälle:

- Kappaleiden automaattisen sijoittelun tehokkailla muokkausmahdollisuuksilla
- Hukkamateriaalin ilmoittamisen sekä uudelleenkäytön
- Monipuolisten raporttien sekä leikkauskaavioiden tulostuksen

5.2 TruNest

Autodesk TruNest tarjoaa täysin integroidun nestausohjelmiston, joka vie valmistajat prosessin alusta loppuun materiaalin ja ajan kannalta tehokkaasti. TruNestin avulla voit kääntää, optimoida, ajoittaa ja valmistaa kappaleiden sijoittelun kaikissa tavallisissa koneissa. Sovellus toimii komposiittien, puun, muovin, lasin, metallilevyn, kankaan ja nahan kanssa ja se voidaan integroida ERP-järjestelmään. [28]

TruNest pystyy lukemaan useita sille syötettyjä lähdetiedostotyyppisiä, kuten DXF, DWG IPT ja IAM tiedostoja. Kuitenkin siten, että kyseiset tiedostot ollaan tarkastettu nestaukseen sopiviksi jo ennen ohjelmistoon sijoittamista. Ohjelmistoon integroidun ERP/MRP-järjestelmän avulla uudet tilaukset pystytään aikatauluttamaan sopiviin ajankohtiin. Ohjelmisto sisältää myös aikataulutustyökalun, jonka avulla pystytään muuttamaan aktiivisena olevaa tilausta ja lisätä esimerkiksi osia siihen. Aikataulutuksen avulla yritys pystyy säätelemään omia sijoitteluja tarpeidensa mukaan. [29]

Ohjelmistoa pystyy käyttämään useampi käyttäjä samanaikaisesti. Tästä on suuri hyöty isoille yrityksille, varsinkin jos työpisteitä on paljon ja osa niistä sijaitsee eri paikkakunnilla. Tämän avulla pystytään käyttämään tuotantotietoja, vaikka ei itse oltaisiakaan fyysisesti paikalla. Tämä myös mahdollistaa sen, että työpaikka ei ole riippuvainen sijainnista, missä työtä tehdään. [28]

Ohjelmistossa on myös aktiivinen sijoittelun tarkastelu käytössä. Tämä tarkoittaa, että kappaleita pystytään sijoittelemaan käsin haluttuun asentoon, jolloin ohjelmisto laskee automaattisesti materiaalinkäytön reaaliajassa uudella sijoittelulla. TruNest muuntaa yleisesti käytetyt CAD-formaatit NC-koodiksi, joka pystytään sijoittamaan suoraan leikkauskoneeseen. [29]

TruNest tarjoaa kolmea erilaista nestaussovellusta yrityksiensä käyttöön. Ensimmäinen näistä on ääriviivoja pitkin menevä sijoittelun menetelmä, jossa ohjelma havaitsee kappaleiden ääriviivat ja sijoittelee ne sen perusteella mahdollisimman tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Ohjelma sopii laser, plasma ja vesisuihku leikkauskoneille. Toisena on stanssaus-, laser- ja jyrsinkoneille tarkoitettu monikäyttösovellus. Viimeisenä TruNest tarjoaa komposiittimateriaaleille oman sovelluksen. [28]

TruNest parantaa tuottavuutta seuraavilla tavoilla:

- Monipuolinen käyttäjäliittymä
- Työskentelee yhdessä yleisimpien CAD tiedostojen kanssa
- Yhteistyökykyinen yhden tai usean työkoneen kanssa yrityksessä

5.3 ProNest

Hypertherm ProNest on CAD/CAM osien sijoitteluhjelmisto, joka on suunniteltu kehittyneille koneistetuille leikkauksille. Ohjelma tarjoaa yhden ratkaisun kaikkiin profiilien leikkaustarpeisiin mukaan luettuna laser, plasma ja vesisuihku. ProNest lisää materiaalien säästöjä, parantaa tuottavuutta, alentaa käyttökustannuksia ja parantaa osien laatua tarjoamalla leikkauksien huipputason asiantuntemuksen. [30]

ProNest-ohjelmisto tarjoaa käyttäjälle materiaalitehokkuuden kehittymisen paremman materiaalinkäytön myötä. Ohjelmistolla on edityksellinen sijoittelujärjestelmän optimointi, jonka avulla käyttäjä pystyy määrittelemään erilaiset sijoittelut, eri levykoot sekä hyväksikäyttää vanhat materiaalivarastot. ProNest muuntaa ladatun CAD-piirustuksen levyille sijoiteltaviin osiin ja järjestelmän sisällä pystytään helposti tekemään erilaisia raportteja, kuten leikkauskaavioita. [30]

ProNest tunnetaan helppokäyttöisestä käyttäjäystävällisestä liittymästään. Yrityksen verkkosivujen mukaan ohjelman käytön oppiminen vie vain neljänneksen verrattuna muihin sijoittelusovelluksiin. [30]

ProNest –sovelluksen vakio-ominaisuudet sisältävät:

- Automaattinen CAD-sovelluksien luku
- Edistykselliset sijoittelumenetelmät
- Automaattinen sekä manuaalinen levyjen rajaus
- Leikkauksien animaatiot
- Häiriöiden havaitseminen ja ilmoittaminen
- CNC jälkikäsittelyvalmius

5.4 SigmaNEST

SigmaNEST on yksi monipuolisimmista ja tehokkaimmista nestaussovelluksista markkinoilla. Ohjelmisto pystyy ohjaamaan lähes kaikenlaisia leikkaus-, stannaus- ja taivutuskooneita. Viimeisen 23 vuoden aikana SigmaNEST on tuottanut yhä monipuolisempia algoritmeja pysyäkseen nestaussovelluksien kärjessä. [31][32]

SigmaNEST tarjoaa nestaukseen useita erilaisia vaihtoehtoja joista ensimmäisenä on suorakulmioiden nestaus. Tässä ohjelma piirtää jokaisen kappaleen ympärille mahdolli-

simman pienen suorakulmion, jonka jälkeen sijoittelee ne leikattavalle levyille mahdollisimman lähelle toisiaan, jättämättä kappaleiden väliin yhtään ylimääräistä materiaalia. Tämä on paras ohjelmisto yrityksille, jotka tuottavat suorakulmaisia kappaleita. [33]

Toisena tulee kolme ohjelmaa, jotka sijoittelevat kappaleen niiden todellisen muodon mukaan. Yksinkertaisin näistä on TrueShape joka, sijoittelee kappaleet raaka'asti ulkomuodon mukaan, mutta ei pysty käyttämään hyväksi kappaleiden sisällä olevaa materiaalia. Seuraavana on Advanced TrueShape, joka ensin ryhmittää kappaleita keskenään luoden niille tarkan sijoittelun. Ohjelma etsii kappaleista ryhmiä, jotka pystytään sijoittamaan yhdessä viedessä vähemmän materiaalia. Syntyneet ryhmät sijoitellaan ohjelmalla optimoiden materiaalinkäyttö. Viimeisenä näistä tarkastellaan HD TrueShape Plus ohjelmaa, joka yhdistelee kahden yllä mainitun ohjelman parhaita algoritmeja. Tämä tarjoaa käyttäjälle monipuoliset sijoittelumahdollisuudet, käyttäen yksittäisen tai monen kappaleen sijoittelualgoritmia optimoinnissa. [33]

Kolmantena ohjelmistona tarjotaan HD SuperNest, joka perustuu aikapohjaiseen algoritmiin. Sovellus on suunniteltu tuottamaan paras mahdollinen tuotto tietyn ajan kuluessa. Tämä tuottaa parempia sijoitteluja mahdollisuuksia yhä uudelleen ja uudelleen, kunnes paras mahdollinen tuotto on saavutettu tai jokin näistä sijoitteluista on manuaalisesti hyväksytty. Tämä sovellus sopii parhaiten jos materiaalina on komposiitti tai jokin muu kallis materiaali, jossa materiaalin käyttö halutaan minimoida. [33]

SigmaNest parantaa tuottavuutta seuraavilla tavoilla:

- Jättemateriaalin väheneminen
- Ajan säästäminen profiilien leikkauksissa
- Osien tarkka leikkaus parantaa laatua
- Automaattinen dynaaminen työkalu stannauskoneille
- Kehittyneet algoritmit uudelleensijoittelussa
- Osien tarkastus
- Automaattiset sarkausalgoritmit
- Kilpailukykyisempien tarjousten luominen

5.5 NestFab

NestFab on helppokäyttöinen ja tehokas tietokoneavustettu sijoittelusovellus, joka lyhentää valmistusaikaa, materiaalinkulutusta sekä säästää rahaa. Ohjelma käyttää lähtötietoinaan teollisuusalan standardi CAD-muotoja, joten se on helppo sijoittaa mihin tahansa tuotantoketjuun. NestFab:in käyttäjäystävällinen käyttöliittymä antaa täydet oikeudet käyttäjälle sijoittelussa, esimerkiksi sijoiteltavien osien määrät, levykoot, leikattavien kappaleiden kierrot, leikkaustyyli sekä erilaiset materiaalivaatimukset, mikäli niitä esiintyy. [34][35]

NestFab ohjelmistoon on mahdollisuus lisätä niin kutsuttu äärimmäisen tehokas (Ultra-Performance) sijoitteluun tarkoitettu lisäosa. Tämän lisäosan avulla pystytään hyödyntämään yleisiä leikkauslinjoja, jonka avulla luodaan säästöjä leikkausajoissa. Ohjelmiston käyttöliittymä on suunniteltu moderniksi ja helposti opittavaksi. Jo pelkästään helppokäyttöisen liittymän ansiosta yrityksillä on mahdollisuus luoda suuria säästöjä materiaalikustannuksiin. [34]

NestFab ominaisuuksia:

- Tuottavuuden parantaminen tehokkaalla sijoittelulla
- Vuorovaikutteinen CAD-tiedostojen tuonti
- Laaja valikoima tulosten eteenpäin viemiseen
- Kattavat raportit jokaisessa työvaiheessa
- Työnkulun automatisointi
- Moderni käyttöliittymä

6. SOVELLUKSIEN VERTAILU

Sovelluksien vertailemisen tueksi luvun alussa esitellään koosteet sekä keskeisarvostelu jokaisesta ohjelmasta, mitä yritys tarjoaa, taulukon muodossa. Taulukkojen tekemisen tukena on käytetty eri sovelluksen tarjoajien verkkosivuja, internetin välityksellä tapahtuvia keskusteluita yritysten kanssa, sekä sähköpostikeskusteluja. Sovelluksien lopullinen vertailu on suoritettu pisteytyksellä yhdestä viiteen erilaisten perusominaisuuksien, leikkausprosessien tuen sekä hinnaston kautta. Kaikille ohjelmistoille ei ollut saatavissa vuotuista hintaa, mikä näkyy taulukossa.

Taulukosta (taulukko 1) nähdään Astra R-Nesting ohjelmiston kolme tarjottavaa sovellusta ja niiden vertailu perusominaisuuksien perusteella. Taulukossa on merkitty kirjaimella x, mikäli versioon sisältyy tietty ominaisuus. Taulukossa ei ole vertailtu leikkausprosesseja, koska yritys tarjoaa lisämaksusta postprosessorin vain CNC-sahoille.

Taulukko 1. Astra R-Nesting ohjelmistojen keskinäinen vertailu [36].

Astra R-Nesting	Lite Edition	Standart Edition	Professional Edition*
Hinta:			
Lisenssi	87.60 e	176.00 e	264.50 e
Päivitykset (30% lisenssin hinnasta)	26.30 e	52.80 e	79.35 e
Perusominaisuudet:			
Tuonti TXT, Excel, XML -muodoista	x	x	x
Automaattinen sijoittelu	x	x	x
Manuaallinen sijoittelun muokkaus	x	x	x
Standardiraportit	x	x	x
Tuoteselosteiden tulostus	x	x	x
Jaettu verkkotietokanta	x	x	x
Osien reunojen nauhoitus		x	x
Hukkamateriaalin uudelleenkäyttämien		x	x
Kirjasto kokoonpanoille			x
Leikkauskulujen laskeminen			x
Vienti Excel, XML, DXF -muotoihin			x
* Mahdollisuus ostaa postprosessori CNC-sahoille 353.80 euron lisähintaan			

Seuraavana vuorossa on Autodeskin tarjoama TruNest (taulukko 2). Kuten Astra R-Nesting ohjelmistolla, myös TruNest ohjelmistolla on olemassa kolme erilaista sijoittelusovellusta eri käyttötarkoituksiin. Eri ohjelmistojen käyttötarkoitukset nähdään alla olevasta taulukosta.

Taulukko 2 TruNest ohjelmistojen keskinäinen vertailu [37].

Autodesk	TruNest Contour	TruNest Multi-Tool	TruNest Composites
Hinta:	9000 euroa		
Lisenssi	Sisältyy hintaan		
Päivitykset	Sisältyy hintaan		
Tuki	Sisältyy hintaan		
Käyttökokemus:			
Mukautettava käyttöliittymä	x	x	x
Yritysratkaisujen tuki	x	x	x
Valikon kontrolloiminen	x	x	x
Ristikön säätö	x	x	x
Sovellusikkunan kontrollointi	x	x	x
Osien muokkaus:			
Osien tiedot useista lähteistä	x	x	x
Automaattinen osien kokoaminen levyille	x	x	x
Takaisinmallinnus	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta
Tuotetietojen hallinta	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta
Aikataulutus ja raportointi:			
Lisää tilauksia ennen nestausta	x	x	x
Dynaamisen järjestyksen ajoitus	x	x	x
ERP/MRP -järjestelmän integrointi	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta
Standardiraportit	x	x	x
Mukautetut ERP/MRP -raportit	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta	Saatavilla lisämaksusta
Optimointi:			
Tasaisen kerroksen halkaisu			x
Automaattinen sarkaus	x	x	
Etsaus ja merkintä	x	x	x
Automaattinen työkalusyklin optimointi		x	
Leikkausprosessien tuki:			
Kerros			x
muottipuristimet		x	
CNC-jyrsinkone		x	
Sahat		x	
Laserleikkurit	x	x	
Vesisuihku	x	x	
Plasma	x	x	

Kolmantena vertaillaan Hypertherm yrityksen tarjoama ProNest, joka myös sisältää kolme sijoittelusovellusta erilaisiin yrityksen tarpeisiin. Tarjotut sovellukset on arvioitu yrityksen toimesta heidän nettisivuillaan [30] ja tulokset nähdään taulukosta (taulukko 3).

Taulukko 3 ProNest ohjelmistojen keskinäinen vertailu [38].

ProNest	ProNest	ProNest LT	ProNest LTS
Hinta: (ProNest Base software)	5307.20 e	Ei saatavilla	Ei saatavilla
Lisenssi (prosentit hinnasta)	10 %	-	-
Päivitykset	10-20%	10-20%	10-20%
Tietokonetuki:	***	***	***
Leikkausprosessit:			
Plasma (perinteinen)	***	***	***
Plasma (teräväpiirto)	***	-	-
Laser	***	-	-
Vesisuihku	***	-	-
Polttoleikkaus	***	***	***
Perusominaisuudet:			
Kappaleiden suunnittelu	***	***	***
CAD-tiedostojen tuonti	***	**	*
manuaalinen sijoittelu	***	***	**
Standardiraportit	***	**	*
Kustannusarvio	***	**	-
Apu tarjouksen teossa	***	-	-
Valinnaiset lisäosat:			
Automaattinen nestaus (2211.50 euron lisähinnasta)	***	**	*
tuottavuuden ohjausyksikkö	***	**	-
Yrityksen ohjausyksikkö (ERP/MRP -integroituna)	***	-	-
Kolmiulotteinen CAD-ohjausyksikkö	***	-	-
Arviointi:			
*** = kehittynyt			
** = keskinkertainen			
* = perus			

SigmaTEK tarjoaa 6 erilaista optimointityökalua, mutta vain yksi on keskittynyt nestaukseen, SigmaNEST AutoNEST. Seuraavaksi esitellään tämän sovelluksen perusominaisuudet. Taulukossa (taulukko 4) on yhteenveto sovelluksen tarjoamista perusominaisuuksista sekä sen tukemista leikkausprosesseista.

Taulukko 4 SigmaNEST ohjelman perusominaisuuksia [32].

SigmaNEST	AutoNEST
Hinta:	
Lisenssi	ei saatavilla
Päivitykset	ei saatavilla
Leikkausprosessit:	
Laser	x
Plasma	x
Polttoleikkaus	x
Vesisuihku	x
Jyrsintä	x
Muottipuristimet	x
Puukko	x
Perusominaisuudet:	
Automaattinen sijoittelu	x
Mukautettu manuaalinen sijoittelu	x
CAD-tiedostojen tuonti	x
Tukee Solidworks ohjelmistoa	x
Varastokirjanpito	x
Apu tarjouksen tekoon	x
Kustannusarvio	x
Helppokäyttöinen käyttöliittymä	x
Yrityksen ohjausyksikkö (ERP/MRP -intergoituna)	x
Saatavilla olevat lisäosat:	
True Shape*	x
* Sisältää kehittyneemmän sijoittelu algoritmin	

Viimeisenä ennen ohjelmistojen keskinäistä vertailua esitetään viimeinen sovellus Nest-Fab (taulukko 5). Ohjelmiston arviointi perustuu verkkosivujen pohjalle ja on samanlainen kuin ProNest ohjelmiston vertailu (taulukko 3).

Taulukko 5 NestFab ohjelmiston perusominaisuuksia [35].

NestFab	
Hinta:	2250 dollaria
Lisenssi	Sisältyy hintaan
Päivitykset	-
Tuki	*
Leikkausprosessien tuki:	Tulosten vienti ohjaimelle tai CNC-ohjelmistolle
Plasma (perinteinen)	Ei saatavilla
Plasma (teräväpiirto)	Ei saatavilla
Laser	Ei saatavilla
Vesisuihku	Ei saatavilla
Polttoleikkaus	Ei saatavilla
Giljotiini	Ei saatavilla
Saha	Ei saatavilla
Perusominaisuudet:	
Kappaleiden suunnittelu	-
CAD-tiedostojen tuonti	*
Automaattinen sijoittelu	***
Manuaalinen sijoittelu	*
Standardiraportit	**
Kustannusarvio	***
Apu tarjouksen teossa	*
Helppokäyttöinen käyttöliittymä	***
Arviointi:	
*** = kehittynyt	
** = keskinkertainen	
* = perus	
Saatavilla olevat lisäosat:	
Ultra Performance	Alkumaksu 3250 dollaria sen jälkeen 1250 dollaria vuodessa
lisäosia Ultra Performance -lisäosaan	Kertaostolla 7250 dollaria

Yllä olevien taulukoiden pohjalta seuraavassa kappaleessa esitellään sovelluksien vertailu keskenään. Arvostelu on suoritettu asteikolla 1-5, siten että numero 1 on heikko ja numero 5 on paras. Taulukossa (taulukko 6) on myös korostettu parhaita ominaisuuksia vihreällä taustavärillä sekä heikoimpia punaisella taustavärillä. Arvostelukriteereinä ovat perusominaisuudet, leikkausprosessien tuenta, materiaalitehokkuus, hankinta ja käyttö-

minen sekä hinta. Arvosteluun valittiin Astra R-Nesting Standard Edition, TruNest Contour, ProNest, SigmaNEST sekä NestFab ja tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 6).

Taulukko 6 Sovelluksien vertailu keskenään.

Vertailu	Astra R-Nesting Standard Edition	TruNest Contour	ProNest	SigmaNEST	NestFab
Perusominaisuudet	3	4	5	5	2
Leikkausprosessit	1	2	5	5	-
Materiaalitehokkuus	3	3	5	4	5
Raportit	2	4	4	4	2
Hankinta ja käyttäminen	4	3	5	4	4
Hinta	5	1	2	-	3
Yhteistulos:	18	17	26	22*	16*
* ei sisällä kaikkia arvostelukohteita					

Tulosten perusteella voidaan todeta, että vertailtavien sovellusten kesken parhaita sijoittelusovelluksia ovat ProNest ja SigmaNest. Kuitenkin sovellusta hankkiessa on otettava huomioon kustannukset, mitä sovelluksen käytöstä aiheutuu vuotuisesti. Jos kriteerinä on neliskulmaisten kappaleiden sijoittelu, parhaat sovellukset ovat Astra R-Nesting sekä NestFab. NestFab on sovellettu kalliiden teknisten materiaalien sijoitteluun, joten sovellus on painottanut maksimaalista materiaalitehokkuutta. Samoin ProNest tarjoaa todella tehokkaan materiaalitehokkuuden, mutta sovelluksen hinta on myös korkea.

Seuraavassa luvussa esitellään johtopäätökset, mitä ollaan tehty sovellusten esittelyiden sekä vertailun kautta niin kohdeyritykselle kuin yleisestikin. Kohdeyrityksellä on tiettyjä rajoitteita leikkauskoneiden suhteen, jotka vaikuttavat sovelluksen valintaan.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Kohdeyritys

Työn tavoitteena oli etsiä tämänhetkisestä markkinatilanteesta kohdeyritykselle sopiva nestaussovellus, jota he pystyisivät hyödyntämään tulevaisuudessa. Kohdeyrityksen tilanteessa tavoitteena olisi löytää halpa ratkaisu sijoitteluun, eikä yrityksen tämänhetkiset leikkauskoneet kykene hyödyntämään tietokoneohjattua leikkausta. Kohdeyrityksen osat joihin nestaussovellusta käytettäisiin on noin 95% suorakulmaisia, joista viimeiseen 5 % jää kaikki muut muodot. Tämän takia suosittelisin yritykselle yllä esitellyistä sovelluksista Astra R-nesting sovellusta. Se sopii yritykselle mainiosti, koska sovellus on tarkoitettu käytettäväksi suorakulmaisten osien sijoitteluun ja sen perusversio on todella edullinen verrattuna muihin sovelluksiin.

Sovellusta tultaisiin käyttämään niin alumiinilevyissä, SPU -eristelevyissä, filmivanereissa, lujalevyissä sekä RST -levyissä. Astra R-Nesting verkkosivun mukaan ohjelmisto on suunniteltu esimerkiksi vanerin, puun ja metalliosien sijoitteluun sekä leikkaamiseen. Koska Astra R-Nesting käyttää suorakulmaista nestausalgoritmia, materiaalisäästöt kasvavat jokaiselle materiaalille huomattavasti. Tarkkoja arvioita on mahdoton esittää materiaalisäästöjen suhteen, mutta materiaalisäästöt kasvavat entisestään huomattavasti. Nykyisellä tyylillä yritys optimoi levynsä projektikohtaisesti käsin käyttäen cad-ohjelmistoa apunaan, mutta nestaussovelluksen avulla pystyttäisiin siirtymään siihen, että useat projektit pystytään optimoimaan kerralla. Kohdeyritykselle sovelluksen käyttöönottamisesta aiheutuvat edut ilmenevät viisinkertaisena, koska jokaiselle materiaalille syntyy kattavia säästöjä.

Materiaalisäästöt eivät ole ainoa asia, jota seuraa sovelluksen käyttöönottamisesta. Tämänhetkinen optimointi suoritetaan käsin jokaiselle materiaalille, joten siirtyessä sovelluksen käyttöön kaikki tähän kulutettu aika voidaan käyttää esimerkiksi uuden projektin suunnitteluun. Sovelluksen ansiosta käsintehty työ jää pois kokonaan levyjen optimoinnissa. Sovelluksen sisällä pystytään tulostamaan leikkauskaaviot työmiehelle suoraan, jokaiselle materiaalille erikseen. Myös suuret materiaalivarastot pystytään pienentämään, koska tiedetään tarkasti, kuinka paljon materiaalia tarvitaan jokaiseen projektiin, joten pystytään tilaamaan materiaalit sen mukaan. Tämä tukee kohdeyrityksen LEAN-ajattelumalliin siirtymistä, missä kaikki ”turha työ” jätetään pois.

Sovellukseen siirtyminen tukee myös yrityksen toista tavoitetta, jossa yritys toivoo kehitysideoita hukkamateriaalien säilytykseen sekä kirjanpitoon. Sovellus tarjoaa heti sijoittelun suoritettuaan arvon, kuinka paljon hukkamateriaalia jää jäljelle. Tämän avulla sähköisen varastoinnin luominen hukkamateriaaleille on mahdollista.

Kaiken kaikkiaan tiivistettynä yllämainitut asiat, suosittelen yritykselle Astra R-Nesting Standard/Professional Edition sovellusta koska:

- Hyödyt:
 - Hankkiminen on edullista.
 - Tukee yrityksen tulevaisuuden tavoitteita (LEAN-ajattelu, sähköinen varastointi hukkamateriaaleilla)
 - Materiaalisäästöt
 - Ajan säästäminen optimoinnissa
 - ”Turhan työn” väheneminen
- Haitat:
 - Uuden sovelluksen käyttämisen oppiminen vie aikaa
 - Muuttaa jo vakiintunutta tyyliä

7.2 Yleiset

Nestaussovelluksen käyttöönottoaminen on todella kannattavaa yrityksille, joissa käsitellään valtavia määriä arkkimateriaaleja. Sovellus ei luo säästöjä pelkästään kappaleisiin käytetystä materiaalmäärän pienenemisestä vaan myös kappaleiden leikkaamiseen kulutetussa ajassa. Kehittyneimmät sovellukset, kuten tutkimuksessa olleet TruNest ja ProNest osaavat optimoida leikkaukseen kulutetun ajan leikkaukseen käytetyn koneiston mukaan.

Sovelluksen avulla pystytään suoraan sijoittamaan leikkauskoneelle tiedot siitä, mitä tarvitsee leikata ja koska. Leikkauskoneiden virhemarginaalit ovat todella pienet, joten viallisia tuotteita syntyy todella vähän verrattuna käsinleikkaukseen. Viallisten tuotteiden määrän sekä hukkamateriaalin väheneminen parantaa yrityksen tuotannon tuottavuutta.

Nykyään uusia sijoittelualgoritmeja kehitetään yhä enemmän. Uusien, tehokkaampien algoritmien ansiosta nestaussovelluksen käyttöönottamisen hyödyt kasvavat entisestään. Paremmat algoritmit tarkoittavat parempaa materiaalitehokkuutta yritykselle, joka

luo yritykselle paremman tuottavuuden. Kehittyneemmän tuottavuuden ansiosta yritykset pystyvät myymään tuotteitaan halvemmalla ja täten nostamaan omaa kilpailukykyään muihin yrityksiin nähden.

LÄHTEET

- [1] The Productivity Committee of the European Productivity Agency in Rome 1959. "The Concept of Productivity and the Aim of National Productivity Agencies".
- [2] Ympäristö.fi, Kulutus ja tuotanto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.3.2019): https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Resurssitehokkuus/Materiaalitehokkuus
- [3] Stroitel Oy (2017), yritys, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 27.2.2019): <https://www.stroitel.fi/yritys/>
- [4] H. Laakso, Stroitel Oy, Kauhava, Sähköpostikeskustelu, 10.3.2019, ei saatavissa.
- [5] Kestävää kasvua materiaalitehokkuudella - Kansallisen materiaalitehokkuusohjelman päivitys 2017, Työ- ja elinkeinoministeriö 8.2.2018, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 5/2018, Saatavissa (viitattu 2.3.2019): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-295-8>
- [6] M., Peck & R., Chipman. Industrial energy and material efficiency: What role for policies? Industrial Development for the Twenty-first Century, 333, 2007.
- [7] E., Worell, M. D., Levine, L., Price, N., Martin, R., van den Broek, & K., Block, 1997. Potentials and policy implications of energy and material efficiency improvement, New York, UN, Commission for Sustainable Development.
- [8] S. H., Abdul-Rashid, S., EVANS & P., Longhurst. A comparison of four sustainable manufacturing strategies. International Journal of Sustainable Engineering, 2008.
- [9] J. M., Allwood, M. F., Ashby, T. G., Gutowski & E., Worrell, Material efficiency: providing material services with less material production. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 371, 20120496, 2013.
- [10] T., Merisalo, Materiaalitehokkuus rakentamisessa - EU:n ja Suomen ohjauskeinot; Building material efficiency - policy instruments in EU and Finland, 2015.
- [11] S., Shahbazi, C., Jönsson, M., Wiktorsson, M., Kurdve & M., Bjelkemyr, Material efficiency measurements in manufacturing: Swedish case studies, 2018.
- [12] M., Kurdve, Applying industrial waste management in practice reassessing the economics of the waste hierarchy, WASTEnomics - turning waste liabilities into assets, 2008.
- [13] P., Söderholm & J. E., Tilton, Material efficiency: An economic perspective, 2012.
- [14] M., Martinsuo, S., Mäkinen, P., Suomala & J., Lyly-Yrjänäinen, Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa, 20. Hankinnat ja hankintojen hallinta.

- [15] P. C., Gilmore, R. E., Gomory, Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions, *Operations Research*, 11, pp. 94-120, 1963.
- [16] M., Adamowicz, A., Albano, Nesting Two-dimensional Shapes in Rectangular Modules, *Computer Aided Design*, 8(1), pp. 27-33, 1976.
- [17] Liu Hu Yao & He Yuan Jun, Algorithm for 2D irregular-shaped nesting problem based on the NFP algorithm and lowest -gravity-center principle, *Journal of Zhejian*, 7(4), pp. 570-576, 2006.
- [18] D., Dori, M., Ben-Bassat, Efficient Nesting of Congruent Convex Figures, *Communications of the ACM*, 27(3), 1984.
- [19] H. S., Ismail, K. K. B., Hon, New Approaches for the Nesting of Two-dimensional Shapes for Press Tool Design, *International Journal of Production Research*, 30(4), pp. 825-837, 1992.
- [20] E., Hopper, B. C. H., Turton, A review of the application of metaheuristic algorithms to 2D strip nesting problems. *Artificial Intelligence Review*, 16, pp. 257-300, 2001.
- [21] A. M., Gomes, J. F., Oliveira, A 2-exchange heuristic for nesting problems. *European Journal of Operational Research*, 141(2), pp. 359-370, 2002.
- [22] K. A., Dowsland, S., Vaid, W. B., Dowsland, An algorithm for polygon placement using a bottom -left strategy, *European Journal of Oerations Research*, 141, pp. 371-381, 2002.
- [23] FMA Communications (2019), Article, Manufacturing Software, Nesting software: A tool for lean manufacturing, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <https://www.thefabricator.com/article/cadcamsoftware/nesting-software-a-tool-for-lean-manufacturing>.
- [24] Tornado Technologies (2019), blog, How nesting software revolutionized the manufacturing industry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <https://tornadosoft.com/blog/2018/10/4/how-nesting-software-revolutionized-the-manufacturing-industry>.
- [25] Optinest (2011), optiblog, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.3.2019): <http://www.optinest.com/optiblog/2011/10/19/how-to-shop-for-sheet-metal-software/>.
- [26] Asrta R-Nesting (2018), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 27.2.2019): <http://www.astranest.com/>.
- [27] Linking nesting software, Astra R-Nesting, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 27.2.2019): <http://www.astranest.com/default.asp?page=linking-nesting-software>
- [28] Autodesk (2019), products, trunest, overview, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.3.2019): <https://www.autodesk.com/products/trunest/overview>.
- [29] Autodesk (2019), products, trunest, features, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.3.2019): <https://www.autodesk.com/products/trunest/features>.

- [30] Hypertherm (2019), hypertherm, pronest, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.3.2019): <https://www.hypertherm.com/hypertherm/pronest/pronest-cadcam-nesting-software/#StandardFeatures-collapse>
- [31] Sigmanest (2019), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.3.2019): <https://www.sigmanest.com/>.
- [32] Sigmanest (2019), products, sigmanest, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.3.2019): <https://www.sigmanest.com/products/sigmanest/>.
- [33] Sigmanest (2019), super floor integration, HD Supernest, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.3.2019): <https://www.sigmanest.com/shop-floor-integration/supernest-hd/>.
- [34] Nestfab (2015), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <https://www.nestfab.com/>
- [35] Nestfab (2015), features, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <https://www.nestfab.com/features>
- [36] Astra R-Nestin (2018), purchase, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.3.2019): <http://www.astranest.com/default.asp?page=purchase-nesting-software>.
- [37] Autodesk (2019), products, trunest, compare products, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.3.2019): <https://www.autodesk.com/products/trunest/compare-products>
- [38] Hypertherm (2019), products, software, nesting software comparison, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2019): <https://www.hypertherm.com/products/software/nesting-software-comparison/>